

**ANALISA PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI
TRANSFORMATOR III GARDU INDUK KEBASEN TAHUN 2017, 2019, DAN
2021**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

MUHAMMAD ILHAM DWI SAPUTRA

D400170125

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI
TRANSFORMATOR III GARDU INDUK KEBASEN TAHUN 2017, 2019, DAN
2021**

PUBLIKASI ILMIAH

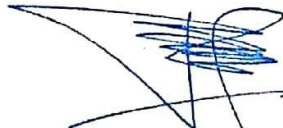
oleh:

MUHAMMAD ILHAM DWI SAPUTRA

D400170125

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Supardi, ST., MT.

NIK. 883

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI
TRANSFORMATOR III GARDU INDUK KEBASEN TAHUN 2017, 2019, DAN
2021**

OLEH

MUHAMMAD ILHAM DWI SAPUTRA

D400170125

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 17 Juni 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Agus Supardi, ST., MT
(Ketua Dewan Penguji)
2. Hasyim Asy'ari, ST., MT
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Tindyo Prasetyo, ST., MT
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)



Dekan,

Sunariono, M.T., Ph.D.

NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 17 Juni 2021

Penulis



MUHAMMAD ILHAM DWI SAPUTRA

D400170125

ANALISA PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR III GARDU INDUK KEBASEN TAHUN 2017, 2019, DAN 2021

Abstrak

Sistem isolasi adalah salah satu bagian yang terpenting pada transformator daya, sistem isolasi pada transformator berguna untuk memisahkan antara dua belitan, primer dan sekunder. Sistem isolasi pada transformator dapat mengalami pemburukan yang disebabkan oleh usia penggunaannya. Kegagalan operasi hingga sampai dengan kerusakan transformator merupakan salah satu akibat yang ditimbulkan ketika transformator mengalami pemburukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil pengujian tahanan isolasi transformator III gardu induk Kebasen tahun 2017, 2019 dan 2021, dan fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kualitas tahanan isolasi transformator III gardu induk Kebasen. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu studi literatur dan pengumpulan data. Pada studi literatur didapatkan beberapa pengujian untuk menganalisa kualitas tahanan isolasi transformator III gardu induk Kebasen seperti uji indeks polarisasi, uji tan delta, dan uji tegangan tembus minyak, dan data yang diambil adalah hasil pengujian tersebut pada tahun 2017, 2019, dan 2021. Hasil pengujian pada gardu induk Kebasen menunjukkan nilai indeks polarisasi pada tahun 2017, 2019, dan 2021 masih dalam kondisi baik, terdapat penurunan dari tahun ke tahun yaitu pada bagian pengujian *secondary – ground* , pada 2017 ke 2019 terjadi penurunan sebesar 0,47 dan pada 2019 ke 2021 terjadi penurunan sebesar 0,04. Hasil perhitungan pada pengujian tan delta masih dalam keadaan yang baik, terdapat kenaikan pada tahun 2017 ke tahun 2019 pada bagian pengujian CT + CHT, CT, CHT (UST) yaitu masing-masing sebesar 0,23%, 0,23%, 0,18%, kemudian pada tahun 2019 ke tahun 2021 terdapat kenaikan nilai tan delta pada bagian CHT (UST) yaitu sebesar 0,07%. Hasil perhitungan pada pengujian tegangan tembus minyak/BDV rata-rata mendapatkan nilai sesuai dengan standar, namun terdapat satu hasil yang buruk pada bagian pengujian minyak OLTC pada tahun 2019 sebesar 27,1 kV/2,5 mm.

Kata Kunci: Transformator daya, indeks polarisasi, tan delta, tegangan tembus minyak

Abstrack

Insulation system is one of the most important parts on power transformer, It used to separating between two windings, primary and secondary . On power transformer, insulation aging can cause insulation degradation. Operation failure up to transformer failure are the effects of insulation degradation. This study aims to determine comparison of the results of Transformer III's insulation resistance test at Kebasen substasion in 2017, 2019 and 2021. The focus of this study is to determine the quality of Transformer III's insulation resistance at Kebasen substasion. The method used in this study are literature study and data collection. In the literature study, several tests were obtained to analyze the quality of the insulation resistance of transformer III at Kebasen substasion such as the polarization index test, the tan delta test and the oil breakdown voltage test. The data taken is test result data in 2017, 2019, and 2021. The test results at Kebasen substasion show that the polarization index value in 2017, 2019 and 2021 is still in good condition. In the secondary-ground testing section there was a decrease from year to year, in 2017 to 2019 there was a decrease of 0.47 and in 2019 to 2021 there was a decrease of 0.04. The results of the calculation on the tan delta test are still in good condition, tan deltas increased from 2017 to 2019 in the CT + CHT, CT, CHT (UST) testing section, namely 0.23%, 0.23%,

0.18% respectively. Then in 2019 to 2021 the tan delta has increased in CHT (UST) by 0.07%. The calculation results on the oil breakdown voltage / BDV test have an average value in accordance with the standard, but there is one bad result in the OLTC oil testing section in 2019 of 27.1 kV / 2.5 mm

Keywords: Power transformer, polarization index, tan delta, breakdown voltage

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat dibutuhkan oleh manusia pada era globalisasi saat ini, hampir setiap hari manusia membutuhkan listrik untuk melakukan aktivitasnya. Energi listrik juga memiliki peranan yang sangat utama dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat melalui bidang industri sampai dengan bidang teknologi yang pasti ditopang dengan sistem tenaga listrik yang memiliki tingkat keandalan dan mutu yang tinggi. Sistem tenaga listrik dengan kualitas yang baik tidak terlepas dari hubungan mulai dari sistem pembangkit, sistem transmisi, sampai dengan sistem distribusi kepada konsumen yang optimal. Penyaluran listrik kepada konsumen dilakukan melalui saluran transmisi dan distribusi, hal itu disebabkan karena lokasi pembangkit listrik yang tidak selalu dekat dengan pusat beban. Salah satu bagian yang tidak dapat dipisahkan dari sistem transmisi dan distribusi adalah gardu induk. Gardu induk adalah tempat yang didalamnya terdapat alat-alat listrik bertegangan tinggi yang memiliki fungsi sebagai pusat kontrol terhadap sistem pembangkit dan sistem distribusi, salah satunya transformator daya.

Transformator daya merupakan peralatan listrik yang memiliki peran vital dalam penyaluran energi listrik (Abidin, 2019). Transformator daya dikatakan memiliki peran vital karena kegunaannya untuk mentransformasi tegangan tinggi menjadi rendah dan begitu juga sebaliknya. Dengan pentingnya peran yang dimiliki tersebut perlu dilakukan perawatan yang dilakukan secara berkala serta pengujian-pengujian guna mengetahui kondisi transformator apakah masih dalam keadaan baik atau mengalami pemburukan dalam sistem kerjanya. Salah satunya pengujian pada sistem isolasi transformator.

Sistem isolasi adalah salah satu bagian yang terpenting pada transformator daya. Sistem isolasi pada transformator berguna untuk memisahkan antara dua belitan, primer dan sekunder. Sistem isolasi pada transformator dapat mengalami pemburukan yang disebabkan oleh usia penggunaannya. Kegagalan operasi hingga sampai dengan kerusakan transformator merupakan salah satu akibat yang ditimbulkan ketika transformator mengalami pemburukan. Gangguan dan kegagalan dalam layanan transformator biasanya diakibatkan oleh kerusakan dielektrik, distorsi belitan yang disebabkan oleh hubung singkat, lilitan dan *hotspot* rangkaian magnet, gangguan listrik, kerusakan isolasi, petir,

perawatan yang tidak memadai, koneksi longgar, beban berlebih, kegagalan aksesoris seperti OLTC, *bushing*, dan lain-lain (Jalli & Roy, 2017).

Pengujian isolasi pada transformator yang menjadi perawatan rutin adalah pengujian indeks polarisasi, pengujian tan delta, dan pengujian tegangan tembus minyak/BDV (Hidayat et al, 2019). Uji indeks polarisasi berfungsi menguji satu bagian peralatan, untuk menemukan resistansi isolasi, uji tan delta memiliki fungsi mendapatkan grafik penurunan kualitas tahanan isolasi transformator selama pengoperasian dari awal pembuatan, dan uji *breakdown voltage* (BDV) yang memiliki fungsi untuk dapat memastikan kemampuan kualitas isolasi pada minyak transformator terhadap tegangan yang diberikan. Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisa perbandingan terhadap hasil pengujian isolasi pada transformator III gardu induk Kebasen pada tahun 2017, 2019, dan 2021 yang berguna untuk mengetahui kelayakan operasinya.

2. METODE

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penulis melakukan penelitian di PT. PLN (Persero) UPT Purwokerto yaitu di gardu induk Kebasen. Penelitian serta penyusunan laporan dapat diselesaikan dalam jangka waktu 4 bulan.

2.2 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis:

2.2.1 Studi literatur

Tahap studi literatur merupakan tahap penulis mencari buku ataupun jurnal yang memiliki keterkaitan dengan penelitian untuk mendapatkan gambaran mengenai penelitian yang akan dilakukan.

2.2.2 Pengumpulan data

Data yang diambil dalam membuat penelitian ini adalah data primer yang merupakan hasil pengujian transformator III gardu induk Kebasen tahun 2017, 2019, dan 2021.

2.2.3 Analisa data

Pada tahap analisa data penulis melakukan perhitungan secara manual pada nilai yang didapat pada setiap pengujian serta membuat analisa perbandingan pada hasil pengujian yang terdapat pada tahun 2017, 2019, dan 2021.

2.2.4 Studi bimbingan

Tahap studi bimbingan merupakan tahap dimana penulis melakukan bimbingan dengan dosen pembimbing mulai dari judul sampai dengan laporan penelitian tugas akhir selesai.

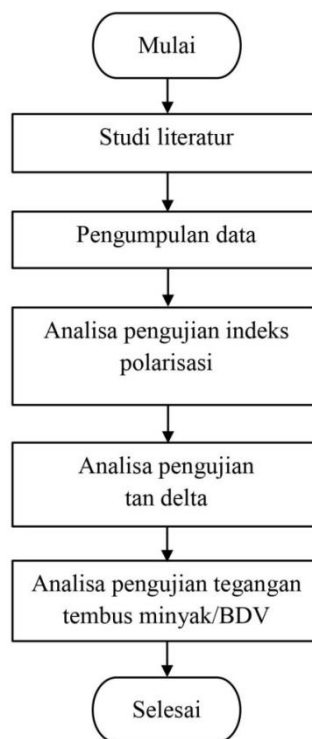
2.2.5 Penyelesaian Laporan

Setelah data didapat dan dianalisa, maka selanjutnya laporan akan diselesaikan dengan membuat pembahasan serta penarikan kesimpulan yang dilanjutkan dengan saran.

2.3 Objek Penelitian

Pada penelitian ini objek penelitian yaitu transformator III gardu induk Kebasen dengan pengujian yang dijadikan acuan adalah uji indeks polarisasi, tan delta, dan tegangan tembus minyak/BDV dengan data pengujian tahun 2017, 2019, dan 2021.

2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data hasil pengujian

3.1.1 Spesifikasi Transformator III Gardu Induk Kebasen

Tabel 1. Spesifikasi transformator III gardu induk Kebasen

<i>Location</i>	Gardu induk Kebasen
<i>Circuit Designation</i>	Bay Trafo 3

Brand and Type	PAUWELS , ORF.60/275
Serial Number	06P0101
Year Of Manufactured	2007
Year Of Operation	2008
Transformer Capacity	150KV/20KV, 60 MVA
Cooling System	ONAN / ONAF
Configuration	Y-Y-D
Impedance	12.456 %

3.1.2 Pengujian Indeks Polarisasi

Pengujian indeks polarisasi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui besarnya arus bocor, indeks polarisasi adalah perbandingan tahanan isolasi menit kesepuluh ke menit pertama dengan tegangan konstan (Mulyana et al, 2020). Uji tahanan isolasi bertujuan untuk mengetahui besarnya tahanan isolasi antara lilitan dengan tanah atau antara dua lilitan. Alat yang digunakan berkapasitas 500, 1000, dan 2500 Vdc. Nilai indeks polarisasi yang besar akan selaras dengan tahanan isolasi yang baik begitu juga sebaliknya.

Tabel 2. Data pengujian indeks polarisasi

No	Aktifitas	Hasil tahun 2017			Hasil tahun 2019			Hasil tahun 2021		
		1 menit	10 menit	IP	1 Menit	10 Menit	IP	1 menit	10 menit	IP
1	<i>Primary – Ground</i>	4950	6940	1,40	6500	9050	1,39	2840	4110	1,44
2	<i>Secondary – Ground</i>	3210	6120	1,91	3340	4810	1,44	1780	2490	1,4
3	<i>Tertier – Ground</i>	4170	6180	1,48	3130	7090	2,26	2580	5180	2
4	<i>Primary – Secondary</i>	3600	6890	1,91	3540	9170	2,59	3440	5680	1,65
5	<i>Primary – Tertier</i>	3820	7030	1,84	5500	10200	1,85	3490	6900	1,97
6	<i>Secondary – Tertier</i>	2040	5000	2,45	3330	7240	2,17	2600	5620	2,15

Perhitungan indeks polarisasi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_p = \frac{R_{10}}{R_1} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

I_p = Indeks polarisasi

R_{10} = Nilai tahanan isolasi menit ke-10

R_1 = Nilai tahanan isolasi menit ke-1

Nilai indeks polarisasi dari data pengujian dapat diperoleh dari perhitungan dengan rumus tersebut:

- Contoh perhitungan indeks polarisasi *primary-ground* pada tahun 2017:

$$I_p = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$I_p = \frac{6940}{4950} = 1.40$$

- Contoh perhitungan indeks polarisasi *primary-ground* pada tahun 2019:

$$I_p = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$I_p = \frac{9050}{6500} = 1.39$$

- Contoh perhitungan indeks polarisasi *primary-ground* pada tahun 2021:

$$I_p = \frac{R_{10}}{R_1}$$

$$I_p = \frac{4110}{2840} = 1.44$$

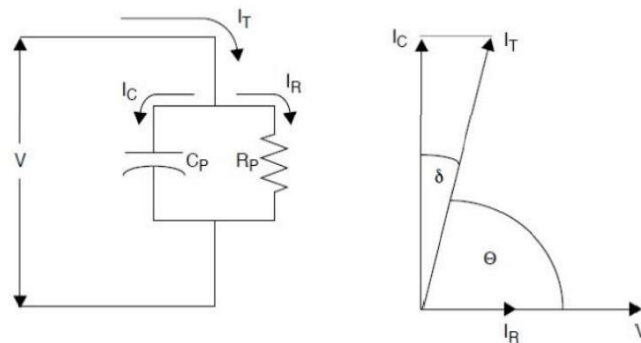
Nilai parameter dari indeks polarisasi menurut standar IEEE 43-2000 tentang indeks polarisasi dan resistensi isolasi yaitu:

Tabel 3. Standar IEEE 43-2000 tentang indeks polarisasi dan resistensi isolasi

Hasil tes	Keterangan
< 1,0	Berbahaya
1,0 – 1,1	Buruk
1,1 – 1,2	Dipertanyakan (pengujian skala minyak, pengujian tan delta)
1,25 – 2,0	Baik

3.1.3 Pengujian Tan Delta

Pengujian tan delta adalah uji diagnostik yang dilakukan pada isolasi kabel dan lilitan. Uji tan delta digunakan untuk mengukur penurunan dalam belitan, ini juga memberikan gambaran tentang proses penuaan pada kabel dan memastikan untuk memprediksi sisa umur kabel. Ini juga dikenal sebagai uji sudut rugi atau $\tan \delta$ (Parasnath et al, 2016). Pengujian tan delta pada transformator menunjukkan kualitas isolasi, hilangnya daya dielektrik, serta kelembapan berbagai macam bahan isolasi. Isolasi dikatakan baik memiliki sifat kapasitif sempurna, pada hal ini transformator dianggap kapasitor yang murni. Tegangan dan arus fasa akan terjadi pergeseran ke sudut 90° pada kapasitor murni dan dikatakan kapasitif adalah ketika ada arus yang melewati isolasi. Adanya kontaminasi pada minyak transformator membuat nilai tahanan isolasinya turun yang berakibat terhadap tingginya arus resistif yang melalui isolasi tersebut sehingga membuat sudut arus mendahului tegangan tidak lagi 90° namun akan bergeser kurang dari 90° (Badaruddin & Firdianto, 2016). Besar selisih pergeseran dari 90° mengidentifikasi tingkat kontaminasi yang terdapat pada isolasi. Semakin kecil nilai persentase pada pengujian tan delta maka akan semakin baik kondisi tahanan isolasinya, begitu pula sebaliknya jika semakin besar nilai persentase pada tan delta maka semakin buruk kondisi tahanan isolasinya.



Gambar 2. Rangkaian sederhana rugi faktor daya

Keterangan:

V = Tegangan yang digunakan

I_T = Arus total

I_R = Arus resistif

I_C = Arus kapasitif

Faktor disipasi = Tangen δ

Faktor daya = Kosinus θ

Metode rangkaian pengukuran pada uji tan delta ada tiga, yaitu:

1. Metode GST (*Grounded Speciment Test*)

Yaitu objek kapasitansi yang diujikan terhadap *ground*. Misalnya pengujian antara sisi primer terhadap *ground*.

2. Metode GSTg (*Grounded Speciment Test guard*)

Yaitu objek kapasitansi yang diujikan terhadap *ground* serta terdapat batasan objek kapasitansi lain (*guard*) sehingga dapat mempengaruhi pada objek kapasitansi yang diuji.

3. Metode UST (*Ungrounded Speciment Test*)

Yaitu kapasitansi terhadap dua objek yang tidak terhubung pada *ground* sama sekali.

Tabel 4. Data pengujian tan delta 2017

Tipe pengujian	Tegangan uji (kV)	Arus (mA)	Daya (W)	Tan δ (%)	Faktor koreksi	Kapasitansi (pF)
CH + CHL	10	35,902	0,6531	0,18	0,7	11.448,89
CH	10	11,990	0,2980	0,25	0,7	3.819,04
CHL (UST)	10	24,021	0,3450	0,14	0,7	7.650,31
CL + CLT	10	61,077	1,1302	0,18	0,7	19.449,05
CL	10	4,861	0,1697	0,35	0,7	1.557,31
CLT (UST)	10	56,203	0,9504	0,17	0,7	17.930,74
CT + CHT	10	29,908	0,6249	0,1	0,7	19.107,94
CT	10	29,919	0,6266	0,1	0,7	19.067,10
CHT (UST)	10	0,071	0,0011	0,08	0,7	45,02

Tabel 5. Data pengujian tan delta 2019

Tipe pengujian	Tegangan uji (kV)	Arus (mA)	Daya (W)	Tan δ (%)	Faktor koreksi	Kapasitansi (pF)
CH + CHL	10	35,897	0,5031	0,14	0,7	11.445,46
CH	10	11,986	0,2272	0,19	0,7	3.807,93
CHL (UST)	10	23,907	0,2885	0,12	0,7	7.657,33
CL + CLT	10	61,05	0,9158	0,15	0,7	19.443,9

CL	10	4,866	0,1305	0,27	0,7	1.538,83
CLT (UST)	10	56,209	0,7888	0,14	0,7	17.943,22
CT + CHT	10	29,903	1,9817	0,33	0,7	19.124,53
CT	10	29,915	1,9774	0,33	0,7	19.083,22
CHT (UST)	10	0,065	0,0037	0,26	0,7	45,47

Tabel 6. Data pengujian tan delta 2021

Tipe pengujian	Tegangan uji (kV)	Arus (mA)	Daya (W)	Tan δ (%)	Faktor koreksi	Kapasitansi (pF)
CH + CHL	10	29,907	0,7798	0,13	0,7	19.102,79
CH	10	35,895	0,5031	0,14	0,7	11.445,46
CHL (UST)	10	23,902	0,2885	0,12	0,7	7.657,33
CL + CLT	10	71,047	1,7022	0,145	0,7	37.387,12
CL	10	29,899	0,9158	0,15	0,7	19.443,9
CLT (UST)	10	56,198	0,7888	0,14	0,7	17.943,22
CT + CHT	10	70,118	3,9634	0,33	0,7	38.249,06
CT	10	29,904	1,9817	0,33	0,7	19.124,53
CHT (UST)	10	29,904	1,9817	0,33	0,7	19.124,53

Keterangan :

CH : *Capacitance High*

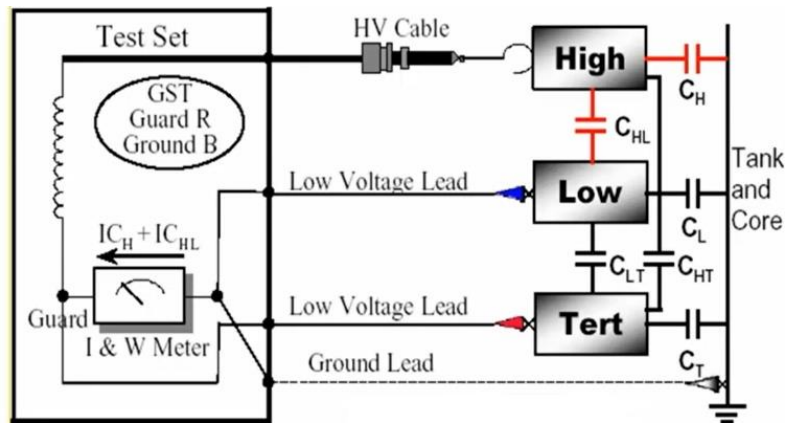
CHL : *Capacitance High Low*

CL : *Capacitance Low*

CLT : *Capacitance Low Tersier*

CT : *Capacitance Tersier*

CHT : *Capacitance High Tersier*



Gambar 3. Rangkaian pengujian tan delta

Untuk mendapatkan persamaan rumus tan delta sesuai dengan gambar 2 adalah sebagai berikut:

$$I_R = \frac{V}{R_p} \dots \dots \dots (2)$$

$$I_C = \omega C_p V \dots \dots \dots (3)$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \dots \dots \dots (4)$$

I_R menimbulkan rugi-rugi daya pada tahanan R_p dan disebut rugi-rugi dielektrik. Nilainya adalah sebagai berikut:

$$P_d = V \times I_R = V I \cos \theta = V I \sin \delta \dots \dots \dots (5)$$

Diketahui bahwa

$$\cos \delta = \frac{I_C}{I} \dots \dots \dots (6)$$

$$I = \frac{I_C}{\cos \delta} \dots \dots \dots (7)$$

$$I = \frac{\omega C_p V}{\cos \delta} \dots \dots \dots (8)$$

Maka,

$$P_d = \frac{\omega C_p V}{\cos \delta} V \sin \delta \dots \dots \dots (9)$$

$$P_d = \omega C_p V^2 \tan \delta \dots \dots \dots (10)$$

$$\tan \delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \times 100\% \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

$\tan \delta$ = Tan delta (%)

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

$\omega = 2\pi f$

C = Kapasitansi (F)

- Contoh perhitungan tan delta pada tipe pengujian CH+CHL tahun 2017:

Diketahui:

P = 0,6531 Watt

V = 10.000 Volt

C = 11.448,89 pF = $11.448,89 \times 10^{-12}$ F

$\omega = 2 \times 3,14 \times 50$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,6531}{(10.000)^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 11.448,89 \times 10^{-12}} \times 100\% = 0,18\%$$

- Contoh perhitungan tan delta pada tipe pengujian CH+CHL tahun 2019:

Diketahui:

P = 0,5631 Watt

V = 10.000 Volt

C = 11.445,46 pF = $11.445,46 \times 10^{-12}$ F

$\omega = 2 \times 3,14 \times 50$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,5631}{(10.000)^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 11.445,46 \times 10^{-12}} \times 100\% = 0,14\%$$

- Contoh perhitungan tan delta pada tipe pengujian CH+CHL tahun 2021:

Diketahui:

P = 0,7798 Watt

V = 10.000 Volt

C = 19.102,79 pF = $19.102,79 \times 10^{-12}$ F

$\omega = 2 \times 3,14 \times 50$

$$\text{Tan } \delta = \frac{0,7798}{(10.000)^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 19.102,79 \times 10^{-12}} \times 100\% = 0,13\%$$

Berdasarkan standar ANSI C 57.12.90 parameter hasil pengujian tan delta sebagai berikut:

Tabel 7. Standar ANSI C 57.12.90 pada pengujian tan delta

Hasil tes	Keterangan
$< 0,5$	Baik
$0,5 < \tan \delta < 0,7$	Pemburukan/kemerosotan
$0,7 < \tan \delta < 1,0$	Investigasi
$> 1,0$	Buruk

3.1.4 Pengujian Tegangan Tembus Minyak/BDV

Pengujian BDV pada transformator bertujuan untuk mengetahui ketahanan isolasi minyak terhadap tegangan yang diberikan, apabila nilai pengujian tinggi maka dipastikan bahwa kualitas minyak isolasi masih dalam kondisi layak begitu juga sebaliknya. Karena ketika nilai pengujian BDV tinggi maka membuktikan bahwa kualitas minyak isolasi tidak dapat dengan mudah ditembus oleh tegangan listrik. Nilai tegangan tembus minyak yang rendah dapat menjadi indikasi yang jelas adanya kontaminasi dalam cairan dari proses degradasi yang terjadi selama masa pakai transformator (Seghir et al, 2021). Pada pengujian tegangan tembus minyak pada transformator 3 menggunakan tegangan sebesar 80kV yang dialirkan pada sampel minyak bagian bawah dan juga minyak OLTC.

Tabel 8. Data pengujian tegangan tembus minyak/BDV tahun 2017

No	Aktifitas	Hasil pengujian (kV)						Rata-rata (kV)
		1	2	3	4	5	6	
1.	Minyak bagian bawah	80,1	80,1	80,0	70,7	80,1	79,0	78,3
2.	Minyak OLTC	80,1	80,1	80,0	70,7	80,1	79,0	78,3

Tabel 9. Data pengujian tegangan tembus minyak/BDV tahun 2019

No	Aktifitas	Hasil pengujian (kV)						Rata-rata (kV)
		1	2	3	4	5	6	
1.	Minyak bagian bawah	80,1	77,8	80,1	80,1	75,6	80,2	79,0
2.	Minyak OLTC	37,7	26,7	23,7	24,6	22,9	23,5	27,1

Tabel 10. Data pengujian tegangan tembus minyak/BDV tahun 2021

No	Aktifitas	Hasil pengujian (kV)						Rata-rata (kV)
		1	2	3	4	5	6	
1.	Minyak bagian bawah	80,1	80	80,1	80,2	80,2	80,2	80,133
2.	Minyak OLTC	23,1	43,8	40,1	45	44,5	44,3	40,133

Rumus untuk mengetahui kekuatan dielektrik pada pengujian tegangan tembus minyak/BDV adalah:

$$\bar{E} = \frac{\bar{V}_b}{d} \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

\bar{E} = Kekuatan dielektrik (kV/2,5mm)

\bar{V}_b = Rata-rata tegangan tembus (kV)

d = Jarak sela (mm)

- Contoh perhitungan kekuatan dielektrik minyak bagian bawah pada pengujian tegangan tembus minyak/BDV tahun 2017:

$$\bar{E} = \frac{\bar{V}_b}{d}$$

$$\bar{E} = \frac{78,3}{2,5} \text{ kV/mm}$$

- Contoh perhitungan kekuatan dielektrik minyak bagian bawah pada pengujian tegangan tembus minyak/BDV tahun 2019:

$$\bar{E} = \frac{\bar{V}_b}{d}$$

$$\bar{E} = \frac{79,0}{2,5} \text{ kV/mm}$$

- Contoh perhitungan kekuatan dielektrik minyak bagian bawah pada pengujian tegangan tembus minyak/BDV tahun 2021:

$$\bar{E} = \frac{\bar{V}_b}{d}$$

$$\bar{E} = \frac{80,133}{2,5} \text{ kV/mm}$$

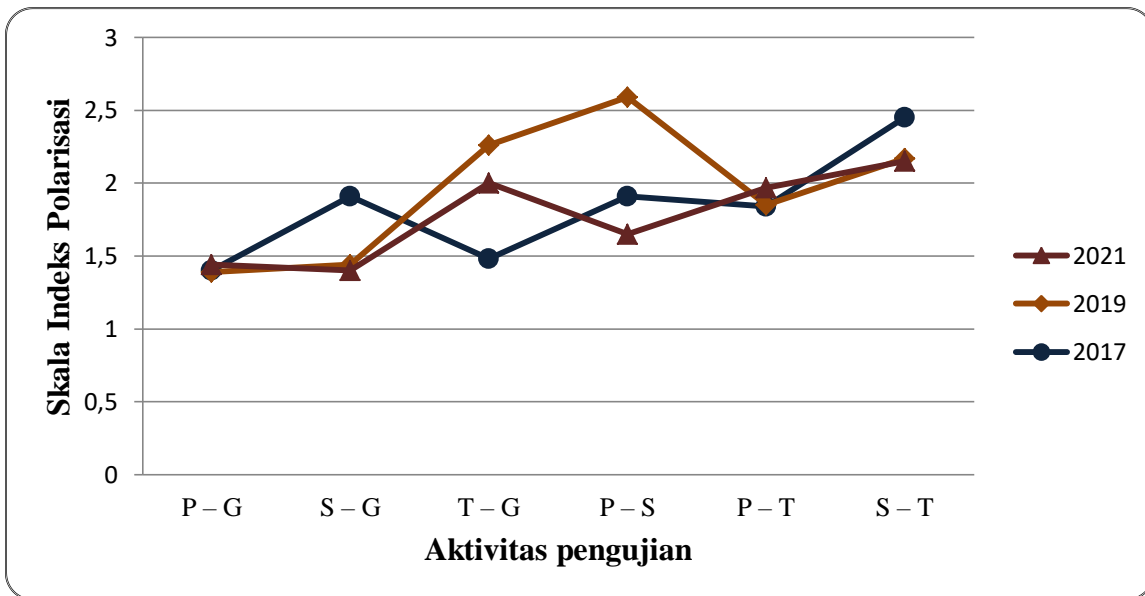
Kekuatan dielektrik minyak transformator memiliki kesinambungan terhadap besar nilai pengujian tegangan tembus minyak/BDV, semakin besar nilai tegangan tembus minyak/BDV kekuatan dielektrik minyak juga akan semakin meningkat. Berikut standar nilai tegangan tembus minyak/BDV berdasarkan IEC 60442:

Tabel 11. Standar nilai tegangan tembus minyak/BDV pada IEC 60442

Tegangan	Tegangan tembus yang diijinkan
< 70 kV	$\geq 30\text{kV}/2,5\text{mm}$
70 – 170 kV	$\geq 40\text{kV}/2,5\text{mm}$
> 170 kV	$\geq 50\text{kV}/2,5\text{mm}$

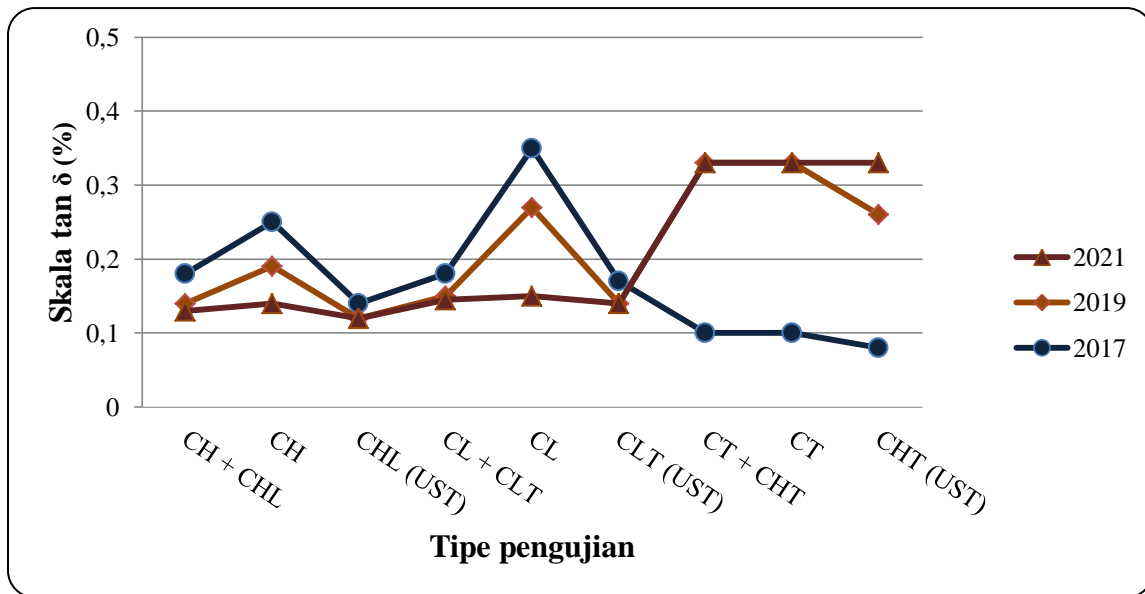
3.2. Analisa Hasil

Berdasarkan hasil perhitungan indeks polarisasi transformator III gardu induk Kebasen tahun 2017, 2019, dan 2021 pada tabel 2 didapatkan hasil yang baik pada setiap bagian pengujiannya. Semua hasil perhitungan dibandingkan dengan standar parameter pengujian yaitu standar IEEE 43-2000 tentang indeks polarisasi dan resistensi isolasi dan mendapatkan hasil nilai yang baik sesuai dengan standar tersebut. Pada aktivitas pengujian *secondary – ground* terdapat penurunan dari tahun ke tahun, 2017 – 2019 penurunan nilai indeks polarisasi sebesar 0,47 dan pada 2019 – 2021 penurunan sebesar 0,04. Meskipun terdapat penurunan dari tahun ke tahun namun penurunan nilai tersebut masih dalam kondisi standar, tetapi tetap harus diperhatikan dan dikendalikan nilai penurunannya agar tidak terdapat pemburukan pada bagian *secondary – ground*. Berikut ini merupakan grafik perbandingan nilai pengujian indeks polarisasi transformator III gardu induk Kebasen tahun 2017, 2019, dan 2021.



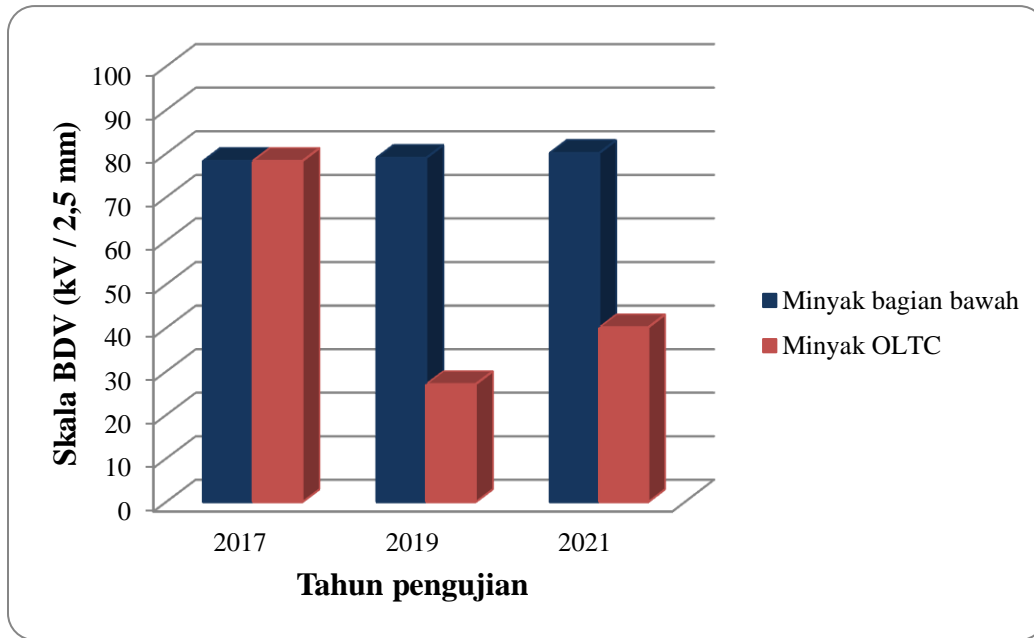
Gambar 4. Perbandingan nilai pengujian indeks polarisasi

Pada hasil perhitungan pengujian tan delta transformator III gardu induk Kebasen tahun 2017, 2019, dan 2021 yang ditunjukkan pada tabel 4 – 6 semua hasil perhitungan mendapatkan hasil yang baik. Pada hasil perhitungan tan delta tahun 2019 yang dibandingkan terhadap hasil perhitungan tan delta tahun 2017 terdapat kenaikan pada tipe pengujian CT + CHT dan CT sebesar 0,23%, CHT (UST) 0,18%. Pada hasil perhitungan tan delta tahun 2021 yang dibandingkan terhadap hasil perhitungan tan delta tahun 2019 juga terdapat kenaikan pada bagian pengujian CHT (UST) yaitu 0,07%. Berdasarkan parameter pengujian tan delta yang digunakan yaitu ANSI C 57.12.90, seluruh kenaikan nilai pada pengujian tan delta masih dalam kategori aman karena masih di bawah 0,5%. Berikut grafik perhitungan tan delta transformator III gardu induk Kebasen tahun 2017, 2019, dan 2021.



Gambar 5. Perbandingan nilai pengujian tan delta

Pada hasil perhitungan tegangan tembus minyak/BDV transformator III gardu induk Kebasen pada tahun 2017, 2019, dan 2021 yang ditunjukkan pada tabel 8 – 10 rata-rata menunjukkan hasil yang baik, namun terdapat hasil di bawah standar yaitu pada bagian pengujian minyak OLTC tahun 2019. Pada tahun 2019 terjadi penurunan nilai tegangan tembus minyak/BDV yang terdapat pada bagian minyak OLTC, dengan hasil perhitungan pada tahun 2019 sebesar 27,1 kV/2,5 mm. Nilai tersebut kurang dari tegangan tembus yang diizinkan berdasarkan standar parameter yang digunakan yaitu standar IEC 60442 dimana tegangan tembus minyak yang diizinkan adalah 40kV/2,5mm. Pada hasil perhitungan tegangan tembus minyak/BDV tahun 2021 terhadap tahun 2019 terdapat kenaikan nilai tegangan tembus minyak pada bagian pengujian minyak OLTC dengan nilai yang dimiliki sebesar 40,133 kV/2,5 mm. Kenaikan nilai tersebut disebabkan adanya pergantian minyak OLTC sehingga kekuatan dielektrik pada minyak OLTC kembali dalam keadaan yang baik dan sesuai dengan standar pengujian. Berikut merupakan grafik tegangan tembus minyak/BDV pada transformator III gardu induk Kebasen tahun 2017, 2019, dan 2021.



Gambar 6. Perbandingan nilai pengujian tegangan tembus minyak/BDV

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian pengujian tahanan isolasi transformator III pada gardu induk Kebasen dapat ditarik kesimpulan bahwa transformator III gardu induk Kebasen masih dalam keadaan normal dan layak untuk beroperasi berdasarkan 3 hasil pengujian yaitu indeks polarisasi, tan delta, dan tegangan tembus minyak/BDV. Perhitungan pengujian indeks polarisasi menunjukkan bahwa nilai indeks polarisasi pada tahun 2017, 2019, dan 2021 masih dalam kondisi baik, terdapat penurunan dari tahun ke tahun yaitu pada bagian pengujian *secondry – ground*, pada 2017 ke 2019 terjadi penurunan sebesar 0,47 dan pada 2019 ke 2021 terjadi penurunan sebesar 0,04 namun penurunan tersebut masih dalam standar yang normal.

Hasil perhitungan pada pengujian tan delta masih dalam keadaan yang baik, terdapat kenaikan pada tahun 2017 ke tahun 2019 pada bagian pengujian CT + CHT, CT, CHT (UST) yaitu masing-masing sebesar 0,23%, 0,23%, 0,18%, kemudian pada tahun 2019 ke tahun 2021 terdapat kenaikan nilai tan delta pada bagian CHT (UST) yaitu sebesar 0,07%. Penurunan tersebut masih dalam keadaan yang normal sesuai dengan parameter standar yang dipakai dan menunjukkan kelayakan operasi pada transformator karena nilai isolasi yang masih dalam kategori baik.

Hasil perhitungan pada pengujian tegangan tembus minyak/BDV rata-rata mendapatkan nilai sesuai dengan standar, namun terdapat satu hasil yang buruk pada bagian pengujian minyak OLTC pada tahun 2019 sebesar 27,1 kV/2,5 mm yang kurang dari standar pengujian yaitu sebesar 40 kV/2,5

mm. Meskipun terjadi penurunan pada nilai tegangan tembus minyak/BDV pada minyak OLTC pada tahun 2019. Namun, PT. PLN telah membuat perbaikan dengan melakukan pergantian minyak OLTC agar hasil tegangan tembus minyak/BDV kembali ke nilai standar. Hal ini terlihat karena adanya peningkatan nilai tegangan tembus pada tahun 2021 yang mendapat nilai 40,133 kV/2,5 mm.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah, puji syukur terhadap kehadiran Allah SWT yang telah memberi segenap rahmat dan hidayahNya kepada penulis sehingga diberi kelancaran serta kemudahan dalam mengerjakan dan menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Penulis tidak lupa berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam mengerjakan penelitian tugas akhir ini. Ucapan terimakasih penulis berikan kepada :

1. Kedua orang tua penulis, yaitu ibu Fatmawati dan bapak Teguh Supriyadi serta kakak penulis Arlita Kusuma Dewi yang selalu memberi doa serta dukungan agar diberi kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir.
2. Novianti Putri mentari yang telah memotivasi memberikan dukungan dan semangat.
3. Bapak Agus Supardi, S.T.,M.T, selaku dosen pembimbing yang membimbing, memberi saran serta motivasi agar menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak dan Ibu dosen teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberi ilmu dan membimbing selama penulis melaksanakan perkuliahan.
5. UKM Paduan Suara Mahasiswa(PSM) Voca Al Kindi sebagai keluarga penulis selama menjalani masa perkuliahan.
6. Sahabat Gabah yang sudah menjadi teman sekaligus keluarga seperjuangan yang selalu memberi dukungan serta tempat berbagi cerita selama perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir.
7. Teknik elektro angkatan 2017 yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, L. (2019). Pengujian Dissipation Factor pada Transformator dengan Jumper dan tanpa Jumper Bushing. *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*, 11 (2), 189-196.
- Badaruddin & Firdianto, A.F. (2016). Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di PT X. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*, 7 (2), 75-83.

- Hidayat, R.A., Jamal, A., Chamim, N.N.A., Syahputra, R., Jeckson. (2019). Analysis of Power Transformer Insulation: A Case Study in 150 kV Bantul Substation. *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, 3 (2), 50-60.
- Jalli, K.R., & Roy, S. (2017). Assesment of health of transformer: a survey. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 114 (7), 281-291.
- Mulyana, E., Hasbullah, Sayefullah, D. (2020). Analysis of Results of Test Resistance Isolation Power Transformator Based on Polarization Index Test and Tangen Delta. *Gunahumas:Jurnal Kehumasan Universitas Pendidikan Indonesia*, 3 (2), 43-48.
- Parasnath, Bisht, S.P., Naiyer, A.A. (2016). Life Assessment of Transformer: A Case Study. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 4 (2), 1-7.
- Seghir, M., Seghier, T., Zegnini, B., Rabhi, A. (2021). Breakdown Voltage Measurement in Insulating Oil of Transformer According to IEC Standards. *ResearchGate*, Chapter Januari 2021, 543-551.